

リアルタイムを維持できるスライスの通信容量の評価

青木 寛[†] 山口真司[†] 長谷川晃朗[†] 檜原 茂[†] 横山浩之[†][†]株式会社国際電気通信基礎技術研究所 適応コミュニケーション研究所

1. はじめに

近年、製造やインフラなど様々な分野で IoT (Internet of Things) が利用され、移動を伴う機器や配置の柔軟性等のために無線化が進められている。工場等の施設のように、多数の無線機器が密に配置されかつ同時に通信を試みる環境では、通信衝突による遅延やパケットロスが発生する可能性が高まる。その結果、通信の不安定さが製造装置等の動作や処理に影響を与え、信頼性の確保を難しくする[1]。

このような問題を解決するため、我々は各機器に無線リソースを適切に割当て協調動作させるシステムの研究開発を進めている[2]。通信衝突により、特にジッタが変動した場合、通信のリアルタイム性を損なう可能性がある。文献[2]では、このジッタの変動を軽減する方法として、一定の通信量以下になるように各機器に帯域制限を付加する方法の有効性を確認した。本稿では、本方式を用いることで適切にリアルタイム性を維持できる通信容量の範囲を評価した結果を報告する。

2. 研究背景

製造装置の動作が定められた時間より遅延すると生産システム全体に影響を与えるため、多くの生産システムはリアルタイムシステムといえる。ここでのリアルタイムとは低遅延での通信ではなく、「定められた時刻内にイベントを正しく処理する」ことを意味する。また、生産システムにおいて、このリアルタイム性を維持するには、システムを構成する機器間にもリアルタイム性が求められる。

本稿では、システム動作がパケットの到着タイミングに基づくシステムを仮定し、受信完了時間の安定性、つまり、受信完了の予定時刻と実際に受信完了した時刻の差の低減に着目する。なお、本稿では遅延時間の最大値と最小値の差（遅延時間の揺らぎの幅）を「ジッタ」とする。無線環境において無線リソースを独占して使うことができればジッタは低減できるが、複数の

トラフィックで無線リソースを共有する場合にはトラフィック間での干渉によりジッタが大きくなる。そこで「スライス」という概念を導入し、共存するトラフィックの独立性を保つことでジッタを低減して受信完了時間の安定性を実現する。「スライス」を無線 LAN 上に導入するには、何らかの指標で無線リソースを分割し、分割したリソースが互いに干渉しないように各機器や装置へ割り当てる必要がある。本稿では、図 1 に示すように、無線 LAN の 1 つのチャンネル（リソース）をネットワーク通信帯域で分割し、これをスライスと呼ぶ。この方法は各機器に通信可能な最大帯域幅を設定し、機器間の衝突を抑制してジッタを低減する。ただし、チャンネル自体の通信容量を超えたトラフィックを割り当てた場合、通信容量の不足によりジッタが増加する。そこで、本稿では、ジッタの低減可能範囲を明らかにするため、無線 LAN で干渉が発生する環境において、スライスに割り当てた通信容量とそこで生じるジッタの関係性を評価する。

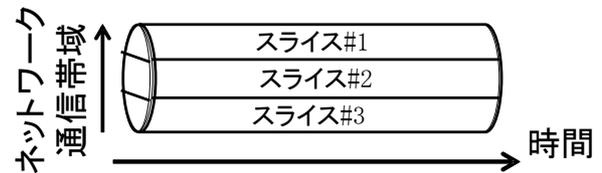


図1 帯域による無線リソースの分割

3. シミュレーション評価

遅延の安定性の評価指標としてジッタを用い、ネットワークシミュレータ ns-3.37 により評価した。図 2 にシミュレーションモデルを示す。シミュレーションモデルは次の 2 つの系、系 1 (周期トラフィックを送信) は AP#1 と STA#1, 系 2 (バーストトラフィックを送信) は AP#2 と STA#2, #3 で構成される。

系 1 では STA#1 から A#1 宛に一定間隔で 1 パケットずつ送信する。送信間隔は 2, 5, 10[ms] または送信無し(w/o)の 4 種類とする。また、それぞれの使用帯域幅は 6, 2.4, 1.2, 0[Mbps]となる。一方、系 2 では STA1 台あたり 150 パケット、つまり 2 台同時に計 300 パケットを 25 秒間隔で 100 回送信する。この時、両 STA に帯域制限を付加し、

Evaluation of slice communication capacity that can maintain real-time

[†]Advanced Telecommunications Research Institute International

その帯域制限幅 (0.2~37.6Mbps) を 0.2Mbps 毎に評価する。なお、両系ともに無線 LAN の設定は 802.11g, 13Ch, 54Mbps 固定とし、送信パケットは UDP で IP パケットのサイズは 1500 バイトとする。

図 3 に系 2 の STA#2, #3 の 150 パケットの受信完了時間を示す。横軸は帯域制限幅である。系 1 の送信間隔が短くなると干渉の可能性が増加するため、系 2 では再送等が増加し受信完了時間が増える。また、系 2 の帯域制限幅を小さくすると、送信量が抑制されるため受信完了時間は増加するが、干渉による影響も低下するため、受信完了時間の変動、すなわちジッタは小さくなる。

図 4 にジッタと帯域制限幅の関係を示す。ジッタ 10[ms]未満をリアルタイム性が維持できる条件とした時、その条件を満たす系 1 の送信間隔と系 2 の帯域制限幅の組み合わせは 2ms の時が 12.8Mbps, 5ms の時が 14.4Mbps, 10ms の時が 15.0Mbps, w/o の時が 15.8Mbps となり、それぞれの帯域使用量の合計は次のようになる。

$$2ms時 : 12.8 \times 2 + 6.0 = 31.6[Mbps]$$

$$5ms時 : 14.4 \times 2 + 2.4 = 31.2[Mbps]$$

$$10ms時 : 15.0 \times 2 + 1.2 = 31.2[Mbps]$$

$$w/o時 : 15.8 \times 2 + 0 = 31.6[Mbps]$$

これらはほぼ一定となっており、全 STA の通信量の合計がこの値以下であればジッタの変動を低減できると考えられ、この値が各機器で通信のリアルタイム性を維持できるチャンネルの通信容量と見積もられる。

図 5 に系 1 の周期トラフィックの最大遅延時間を示す。系 2 の STA の帯域制限幅が小さいほど遅延時間が低下する。系 1 の遅延時間については、送信間隔による影響が少ないといえる。

4. まとめ

本稿では、無線リソースを帯域で分割した際の受信完了時間とジッタへの影響についてシミュレーションにより評価、検討を行った。帯域によるスライス帯域制限を行うことで実現可能であり、各機器から送信されるトラフィック量を考慮することで、ジッタを条件範囲内に収めたリアルタイム性を維持可能であると考えられる。

謝辞

本研究は、総務省の「電波資源拡大のための研究開発(JPJ000254)」における委託研究「リアルタイムアプリケーションを支える動的制御型周波数共用技術に関する研究開発」により実施した成果を含む。

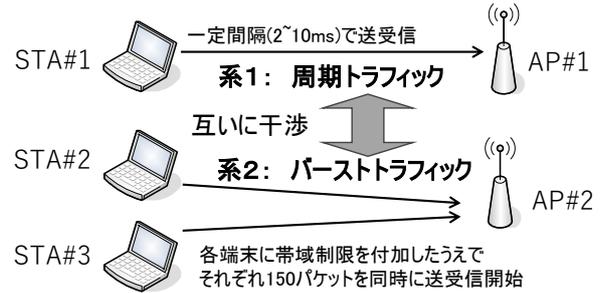


図 2 シミュレーションモデル

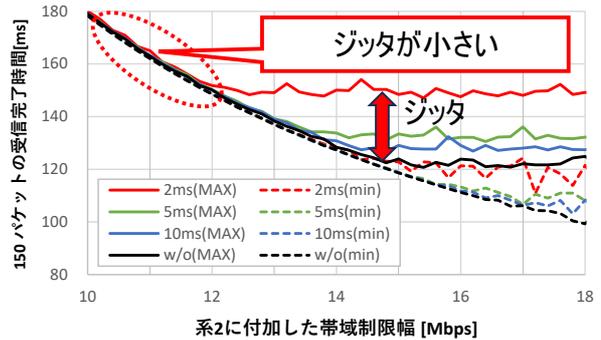


図 3 系 2(STA#2,#3)の受信完了時間の最大値、最小値

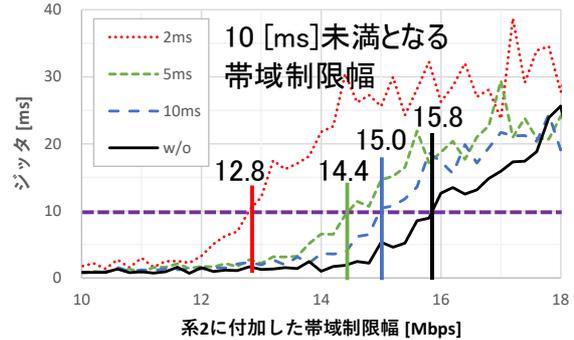


図 4 系 2 (STA#2,#3)におけるジッタと帯域制限幅の関係

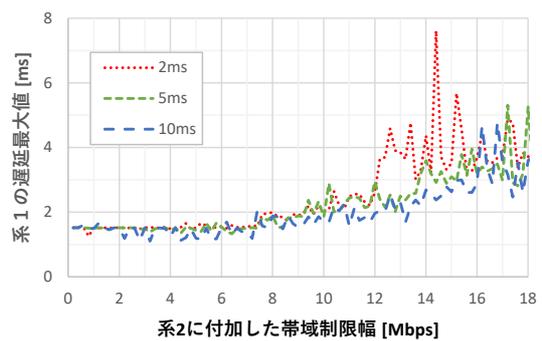


図 5 系 1 (STA#1) における周期トラフィックの最大遅延時間

参考文献

- [1] 総務省情報通信審議会情報通信技術分科会, “工場のワイヤレス化のニーズと課題,” 2017年2月.
- [2] 青木他, “パースト的トラフィックにおける隠れ端末問題の改善方法,” DICOMO 2023, pp. 1399-1406, 2023